

CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES EN BOGOTÁ: ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

AUTOR:

JUAN PABLO SUAREZ SAENZ

Ingeniero Civil – Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá D.C).
u2700869@unimilitar.edu.co; juan-pablo_06_86@hotmail.com



**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y
MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DICIEMBRE DE 2018**

CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES EN BOGOTÁ: ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

SUSTAINABLE CONSTRUCTIONS IN BOGOTA: ALTERNATIVES FOR CONSTRUCTION

JUAN PABLO SUAREZ SAENZ

Ingeniero Civil – Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá D.C).
u2700869@unimilitar.edu.co; juan-pablo_06_86@hotmail.com

RESUMEN

El sector de la construcción en Bogotá ha tenido periodos de crecimientos como el de 2013 a 2016 en el que hubo un crecimiento del 20% aproximadamente, este hecho es favorable para el pueblo colombiano, sin embargo, lo que resulta preocupante es la problemática generada por la contaminación de los procesos constructivos. Una de las causas de este problema son los materiales usados en estos procesos, a los cuales se les debe realizar un estudio para encontrar un uso óptimo y eficaz con el que se puede reducir los impactos ambientales, otra de las causas de este gran problema es la escases de materia prima cerca del núcleo urbano y el agotamiento de los sitios de vertidos autorizados. En varios países del mundo se están dando respuesta a dichas problemáticas mejorando como resultado las características físicas de materiales usados en la construcción y dando a conocer materiales alternativos para una construcción sustentable, además se está proponiendo procesos de reutilización de los residuos de la construcción en nuevos proyectos. En este artículo se da un recorrido por la literatura, haciendo referencia a los materiales de construcción sustentables que se están estudiando hoy en día y también a los métodos de aprovechamiento de los residuos de construcción o de demolición, generando como resultado un análisis general de las diferentes alternativas para una construcción sustentable en Bogotá.

Palabras Claves: Construcciones Sustentables, Materiales alternativos, Residuos de construcción o demolición (RCD)

ABSTRACT

The construction sector in Bogotá has had periods of growth such as that of 2013 to 2016 in which there was an increase of approximately 20%, this fact is favorable for the Colombian people, however, what is worrisome is the problem generated by the contamination of the construction processes. One of the causes of this problem is the materials used in these processes, to which a study must be carried out to find an optimal and effective use with which environmental impacts can be reduced, another of the causes of this great problem is the scarcity of raw material near the urban nucleus and the exhaustion of authorized dumping sites. In several countries of the world they are responding to these problems by improving as a result the physical characteristics of materials used in the construction and making known alternative materials for sustainable construction, in addition it is proposing processes of reuse of construction waste in new Projects. This article gives a tour of the literature, making reference to the sustainable building materials that are being studied today and also to the methods of using the construction or demolition waste, generating as a result a general analysis of the different alternatives for sustainable construction in Bogotá.

Keywords: Sustainable Constructions, Alternative Materials, construction and demolition (C & D) debris.

INTRODUCCION

Colombia es un país privilegiado por sus riquezas naturales, por su variedad, belleza geográfica y por la diversidad de sus ecosistemas. Es el segundo país con mayor biodiversidad y está entre las 12 naciones más megadiversas del planeta.

En su división política existe 32 Departamentos que agrupan a 1122 municipios en los cuales se encuentran más de 45 millones de habitantes [1]. Bogotá es la capital y la ciudad más grande de Colombia. Es un punto de convergencia de personas de todo el país, es diversa y multicultural y en esta se combinan construcciones modernas con otras elaboradas en su pasado colonial.

El distrito Capital tiene zonas verdes gracias a sus parques y a los cerros orientales y cuenta con 8,08 millones de habitantes [1]. Debido a la expansión potencial de la zona urbana de la Ciudad de Bogotá se puede evidenciar que los proyectos infraestructurales son de tal magnitud para tener en cuenta los efectos sobre el medio ambiente.

El distrito Capital al igual que Medellín y varias ciudades de Colombia, están viendo las consecuencias de un mal manejo del entorno natural. Las emisiones de las industrias, el mal manejo de los residuos de los ciudadanos y los proyectos de

construcción aportan cada uno con cierta cantidad de contaminantes a los medios tierra, agua y aire. Según Castaño se producen en Bogotá 2000 kg.hab/año de acuerdo a los 15 millones de ton/año de residuos de construcción y demolición (RCD) dados por la SDA en el 2011, valor que sería mayor al de grandes urbes en el mundo [2].

El uso de los recursos naturales en los proyectos de construcción se puede observar con el simple hecho de necesitar más de 2 toneladas de materias primas por cada m² de vivienda construida, además según Chao Mao el sector de la construcción consume aproximadamente el 40% de la energía total utilizada, contribuyendo hasta un 30% del total de emisiones de Gases de Efecto Invernadero anualmente [3].

La zona urbana de Bogotá va creciendo de manera exponencial y cada vez se necesita más infraestructura vial y urbana para la sostenibilidad de las personas que llegan a la ciudad en busca de mejores oportunidades, por esta razón es que se aumentan la cantidad de proyectos de construcción, sin embargo, en el desarrollo de estos no se tiene en cuenta los ecosistemas presentes en la zona, pasando por alto la vitalidad de la naturaleza y dando por hecho que los recursos usados y el paisaje modificado se puede reestablecer con el tiempo o con un poco de inversión en la reforestación de bosques.

Los daños provocados por proyectos de construcción al medio ambiente en Colombia y más específicamente en Bogotá son incontables y es hora de pensar en soluciones que permitan aprovechar adecuadamente los recursos naturales disponibles en el entorno natural.

En este artículo se analizará las posibles alternativas de materiales para las construcciones sustentables en Bogotá, estudiando los beneficios obtenidos por la implementación de materiales para una construcción sustentable en diferentes lugares del mundo, además se tendrán en cuenta las diferentes alternativas de aprovechamiento de residuos de una construcción, con lo que se pueden generar alternativas viables para los futuros proyectos de construcción en Bogotá.

1. METODOLOGÍA

1.1 Selección de la información

En total se analizaron 60 artículos disponibles en las bases de datos Ebarry, Emerald, ScienceDirect, *International Journal of Environmental*, *IOP SCIENCE*, scopus y e-libro. Como criterios de búsqueda solamente se tuvieron en cuenta publicaciones realizadas entre 2013 – 2018. Así mismo, se tuvieron en cuenta publicaciones realizadas en idiomas como inglés y español.

1.2 Parámetros de búsqueda

La búsqueda inicial se basó en palabras claves contenidas en el título y en el contexto del tema de interés con el fin de obtener información relevante y realizar un análisis completo de la información obtenida; estas palabras claves en un contexto técnico fueron:

- Sustainable constructions
- Construcciones verdes en Bogotá
- Plan de ordenamiento territorial POT
- Sustainability
- Sustainability in construction

Con la información obtenida, se procede a generar resultados de esta revisión bibliográfica cuyo objetivo es plantear unas posibles alternativas de materiales para las construcciones sustentables en Bogotá basadas en la literatura existente de dicho tema.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 60 artículos consultados en las diferentes bases de datos previamente mencionadas, el 28.33% (17 Artículos) contienen información relacionada con alternativas de materiales para construcciones sustentables en la ciudad. Así mismo, el 6.67% (4 Artículos) de los documentos evalúan diferentes soluciones para el aprovechamiento óptimo de los recursos generados por la construcción.

A continuación, en la tabla 1 se clasifican las alternativas de materiales para las construcciones sustentables encontradas en la documentación consultada y en la tabla 2 se clasifican las alternativas de aprovechamiento de residuos de las construcciones.

Tabla 1. Alternativas de materiales para las construcciones sustentables.

Alternativa	Numero de fuentes asociados a la Alternativa	Bibliografía de Soporte
Materiales bioaislantes o Biológicos	2	D. M. Nguyen, A.-C. Grillet, Q.-B. Bui, T. M. H. Diep, y M. Woloszyn, oct. 2018; S. A. Miller, oct. 2018.
Concreto sostenible	2	A. D'Alessandro, C. Fabiani, A. L. Pisello, F. Ubertini, A. L. Materazzi, y F. Cotana, oct. 2016; L. Assi, K. Carter, E. (Eddie) Deaver, R. Anay, y P. Ziehl, oct. 2018,
Arcilla secada al Sol	1	B. Djami, 2016
Diseño de edificios con herramientas y planeación	10	J Hernandez , Ago 2013; A. Houghton y C. Castillo-Salgado, dic. 2017; L. Bragança, S. M. Vieira, y J. B. Andrade, 2014; M. Hamdy, A. Hasan, y K. Siren, ene. 2013; Y. Sieffer. Y Mar, 2014; L Alvarez, J Diaz, 2014 F. Quesada, Jun 2014; J. Moreno, P. Lopez, J Diaz, 2014 J. Campo, W. Sanabria, Ene 2013 S. Tadeu, C. Rofriguez, A. Tadeu, F. Freire, N. Simões, 2015
Bloques de pavimentación de polímeros inorgánicos a partir de residuos de bauxita	1	P. J. Joyce, T. Hertel, A. Goronovski, A. H. Tkaczyk, Y. Pontikes, y A. Björklund, nov. 2018
Prefabricados	1	C. Mao, Q. Shen, L. Shen, y L. Tang, Nov. 2013

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Tabla 2. Alternativas de aprovechamiento de residuos de las construcciones

Aprovechamiento de residuos de una construcción	Numero de fuentes asociados	Bibliografía de Soporte
Residuos de mármol	1	A. K. Thakur, A. Pappu, y V. K. Thakur, oct. 2018
Residuos de construcción y demolición	3	O. Castaño; M. Rodríguez, Rodrigo, L. Lasso, A. Gomez; M. Ocampo, Dic 2017; A. Chavez Porras, O. Palacio, N. Guarín Ene 2013 N V Bakaeva, M Y Klimenko, 2017

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

2.1 Alternativas de materiales

2.1.1 Materiales bioaislantes o Biológicos

Los materiales para la construcción de edificaciones son obtenidos por medio de procesos que demandan una gran cantidad de recursos y energía, al igual que el mantenimiento y la funcionalidad de estos. Actualmente se han realizado estudios e investigaciones acerca del uso de materiales para la construcción, procedentes del área biológica de una zona, como ejemplo están los materiales Bioasilantes que son analizados, estudiados y mejorados por investigadores inmersos en el área ambiental.

Se pueden encontrar diversos artículos de materiales Bilógicos y entre ellos está la investigación realizada por D. M. Nguyen 2018, en la cual hablan de la posibilidad de usar las partículas de bambú y aglutinantes biológicos para generar nuevos materiales que proporcionan una gran calidad de vida en las edificaciones reduciendo la energía que se gasta usualmente [4]. Los estudios demuestran que hasta el día de hoy se han generado grandes cantidades de contaminación ambiental usando las diferentes alternativas de energía para la refrigeración, la calefacción y el uso del aire acondicionado. Con esta alternativa de materiales bioaislantes se reduce el uso de servicios energéticos colaborando con el medio ambiente y reduciendo las emisiones de contaminación.

También se han realizado investigaciones acerca de las ventajas que se pueden obtener del tratamiento de fibras naturales y matrices de polímeros derivados biológicamente que pueden llegar a alcanzar valores relevantes en resistencia de cargas muertas y vivas, además de los estudios realizados para obtener valores de

deformaciones que sufren estos materiales alternativos. El estudio realizado por S. A. Miller nos muestra valores de propiedades mecánicas similares a los valores regulares de un material de construcción actual, que incluyen las maderas usadas en construcciones de ingeniería. Los materiales usados para el análisis fueron los compuestos de base biológica de poli (β -hidroxibutirato) -co- (β -hidroxivalerato) (PHBV) reforzado continuamente con lino de cáñamo, arpillera de yute y textiles de arpillera de cáñamo [5]. Con esta investigación se puede observar que hay más materiales con los cuales se puede llevar a cabo proyectos de construcción teniendo presente el factor ambiente de la zona.

2.1.2 Concreto sostenible

Al igual que los materiales biológicos, también se han realizado avances en investigaciones de los cementos que son material básico para una construcción. Entre esas investigaciones se puede encontrar el artículo de Lateef Assi 2018, que habla de una gran reducción en emisiones de CO₂ en comparación con el cemento portland, en la elaboración de este material.

Los nuevos cementos y materiales que se están generando en la actualidad están siendo encaminado hacia un buen manejo de los recursos primarios sin dejar a un lado las necesidades del hombre, por esta razón es que se están generando diferentes alternativas de materiales que son más amigables con el medio ambiente.

Una de las variables que se está estudiando son cementos ultra-finos con incorporación de un alto volumen de cenizas volantes y escoria de alto horno lo cual reduce un 47% y un 41% las emisiones de carbono [6]. También se ha investigado sobre el concreto geopolimérico que es uno de los materiales de cemento sostenibles que reducen las emisiones de carbono en un 20-50%. Este concreto es una mezcla de materiales de fuente de silicato de aluminato, como cenizas volantes, escorias de alto horno o metacaolín, y una solución activadora que incluye silicato de sodio, hidróxido de sodio o humo de sílice, hidróxido de sodio y agua [6].

Según la literatura encontrada la industria de la construcción contribuye al 24% del total de extracciones de materiales en todo el mundo y además alrededor del 40% de los materiales en el mercado global son consumidos por actividades relacionadas con el sector de la construcción y por lo tanto estas mismas actividades contribuyen de manera notable a las emisiones de efecto invernadero [7].

El concreto es un material de gran importancia en el sector de la construcción debido a sus propiedades mecánicas, y gracias a esto se implementa en diferentes áreas como en sistemas de infraestructuras, trabajos geotécnicos, plantas industriales, pavimentos de carreteras, represas, etc, por lo que se puede afirmar según investigaciones que se produce aproximadamente 1 tonelada de hormigón por

persona en el mundo. Teniendo en cuenta esta gran cantidad de material producido y de la cantidad de dióxido de carbono que genera es evidente la necesidad de realizar investigaciones sobre el mejoramiento de la calidad del concreto producido.

Se han presentado artículos acerca de concretos sustentables que disminuyen notablemente las emisiones de gases manteniendo y hasta mejorando las características mecánicas y portantes de este material. Ya se están elaborando y realizando pruebas con hormigones o concretos especiales cuyo impacto ambiental se mitiga al mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, entre estos están, Hormigones de alta resistencia (HSC: high strength concretes) que reduce el volumen estructural general para el soporte de las cargas, hormigones con mayor durabilidad, hormigones ligeros (LWC: lightweight concretes) y otros hormigones que son elaborados dependiendo de la forma a utilizar. Se pueden lograr mejoras adicionales mediante la inclusión o adición de partículas y fibras innovadoras dentro de la matriz de concreto. Los nuevos hormigones con propiedades de autocuración, fotocatalíticas y autosensores, realizados con la adición de nuevos rellenos de ingeniería, representan la oportunidad de organizar estructuras inteligentes de alta tecnología multifuncionales con notables beneficios sostenibles [7].

De acuerdo a lo anteriormente descrito se puede hablar de un progreso en los materiales bases de la construcción teniendo una meta a corto plazo como fundamento para lograr alcanzar un equilibrio con el medio ambiente.

2.1.3 Arcilla secada al Sol

La arcilla secada al sol ha sido un material usado durante más de 10000 años en construcciones de casas, mezquitas, iglesias, palacios y ciudades [8]. Este material es amigable con el medio ambiente, es fácil de obtener, tiene buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico, por lo que hace pensar que ante el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero, sería una buena opción como implementación en proyectos de construcción. Los investigadores han hallado en este material una respuesta ante los problemas de contaminación actuales y debido a su gran facilidad de asequibilidad es propuesto para análisis y estudios.

Las construcciones realizadas con arcilla pueden llegar a ser duraderas y con bajo impacto al medio ambiente, como ejemplo tenemos la gran muralla en China, la Mezquita Djinguereber de Timbuktu en Mali y Ramasseum en Egipto por hablar de unas pocas edificaciones realizadas a gran escala, pero con una excelente resistencia, durabilidad y sostenibilidad puesto que llevan más de 5000 años de antigüedad [8].

Desde la segunda guerra mundial la arcilla o materiales de tierra secados al sol han sido reemplazados por el material conglomerado, concreto, que produce una gran cantidad de emisiones de dióxido de carbono en comparación con la arcilla puesto

que esta es natural y al igual que el concreto tiene buenas aptitudes mecánicas. Además de los beneficios ambientales obtenidos al usar la arcilla, también se puede evidenciar beneficios en los costos puesto que es menos costosa en el mercado que otros materiales de construcción.

A pesar de que la arcilla fue reemplazada, se puede observar un gran uso en la actualidad de esta en las construcciones, demostrando ser un material de construcción valioso por su durabilidad, capacidad estructural, rendimiento energético e impacto ambiental ganándose un puesto entre los materiales de estudio para dar respuesta a las preocupaciones “verdes” contemporáneas.

2.1.4 Diseño de edificios con herramientas y planeación

Los estudios realizados demuestran que la base principal de una construcción sustentable es la planeación, ya que se puede tener desde un principio los materiales adecuados y la certeza de lo que se puede realizar o comprar para poder realizar las acciones más adecuadas para la construcción cuidando en su punto máximo al medio ambiente mientras el proyecto es llevado a cabo [9].

Para los espacios en Bogotá se debe tener en cuenta la historia de la ciudad, puesto que las construcciones también son basadas en lo que quieren los ciudadanos y como desean ver sus alrededores [10]. Una parte importante en la construcción de edificaciones es el objetivo con el que se realizan los proyectos, ya que estos son creados a partir de necesidades que tienen los habitantes de la zona. Por esta razón hay proyectos que se ven con buenos ojos y hay otros que son obsoletos ya que no son de gran utilidad y solo están llenando el área de contaminación visual o también llamados Elefantes blancos que son construcciones inservibles pero que cuestan tanto recursos monetarios como recursos naturales.

Hay que hablar también de los beneficios en la salud que conlleva una construcción sustentable puesto que estas emiten menos contaminantes a los diferentes recursos con los que se cuentan [11].

Con una construcción sustentable se puede disminuir la contaminación del agua, del aire y del suelo lo cual podría disminuir las enfermedades y a su vez mejorar las condiciones y la calidad de vida de las personas y especies a su alrededor.

Aparte de las enfermedades otra consecuencia indeseada son los desastres naturales que pueden ser provocados por la intervención del hombre en un ambiente natural. Una mala planeación de los proyectos, dejando a un lado los ecosistemas, puede provocar una pérdida de escudos naturales que posteriormente y como consecuencia provocaría un desastre natural.

La construcción de edificaciones y vías longitudinales sin un previo análisis ambiental puede llegar a ser desastroso para toda la población cercana. Por lo anterior se tiene en cuenta las construcciones LEED que son las construcciones realizadas con un fundamento energético y ambiental.

Entrando en el ámbito económico Jorge moreno 2014, establece que La evolución histórica del PIB del sector de la construcción a precios constantes evidencia una tendencia decreciente desde el 2006 al 2010, con una caída significativa en este mismo año, del 0,1% [12].

Los procesos de construcción tienen impactos ambientales debido a los recursos que consumen y las emisiones, en gran cantidad, de gases generadas. Según estudios realizados la construcción consume aproximadamente el 40% de los recursos naturales y genera un 40% del total de residuos a nivel mundial [13], valores realmente relevantes para tener en cuenta.

El estudio de varias alternativas para una construcción sustentable se está llevando a cabo más interesadamente en la actualidad por que los recursos con los que se cuentan se están agotando. Una de estas alternativas, partiendo de la planeación de un proyecto, es llevar a cabo la integración de varias áreas de la construcción como la de estructuras, hidráulica y geotécnica optimizando costos, tiempos y recursos ambientales. Completándose esta integración desde la planeación del proyecto se podría observar un mayor aprovechamiento de los recursos necesarios, y por lo tanto un menor impacto ambiental.

Hoy en día existen infinidad de programas computacionales que son usados en el diseño de un proyecto, por lo tanto, es aconsejable implementar una base de datos en la cual se puedan trabajar desde las diferentes divisiones de la ingeniería, partiendo de la información actualizada y real de cada una de las áreas participantes del proyecto.

La energía usada en los edificios construidos también es un tema de interés, puesto que según estudios realizados hay maneras de ahorrar energía en el mantenimiento del entorno de un edificio, método que resultaría benéfico para el ambiente ya que habría menos emisiones de gases a la atmosfera y se aprovecharían mucho mejor los recursos que se tienen a disposición. Según Mohamed Hamdy 2013, la UE se encuentra realizando estudios para optimizar la energía que se usa en los edificios, lo hacen con diseños de diferentes opciones de parámetros de envolvente de edificios, unidades de recuperación de calor y sistemas de calefacción/refrigeración, así como varios tamaños de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos. El rendimiento energético de los edificios es un elemento clave para lograr los objetivos de clima y energía de la UE, es decir, una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero y el 20% del ahorro de energía primaria para 2020 [14]. Esta alternativa o metodología requiere comparar los costos globales (inversiones adicionales, costos de reemplazo, costos de energía, etc.) y la energía primaria

suministrada de combinaciones de medidas de eficiencia energética compatible y suministro de energía para encontrar combinaciones rentables de eficiencia energética de las variantes de diseño que influyen en el rendimiento térmico de una casa.

Bogotá es una ciudad con gran cantidad de recursos naturales aprovechables y que además está teniendo un crecimiento exponencial relevante por la llegada de miles de personas a la capital por año. Debido al aumento poblacional de la ciudad se evidencia un crecimiento económico importante que se debemos tener en cuenta ya que como lo explica Jacobo Campo R. 2013, el crecimiento económico de una nación puede llegar a ser una maldición para los recursos del lugar, puesto que se incrementa aún más el uso de los recursos para diferentes actividades de la economía llevando al desgaste o agotamiento de dichos recursos.

2.1.5 Bloques de pavimentación de polímeros inorgánicos a partir de residuos de bauxita

El residuo de bauxita es el que inevitablemente resulta de la primera etapa de la producción de aluminio [16]. El uso de estos residuos minimiza el impacto ambiental del ciclo de vida de los materiales elegidos y fomenta el uso de materiales con alto nivel de contenido reciclable. El uso de los bloques elaborados con residuos de bauxita, en lugar de materiales vírgenes en la producción de materiales de construcción ayuda a conservar los recursos disponibles en el medio ambiente.

Los polímeros inorgánicos son beneficiosos para la construcción y a partir de residuos de bauxita se pueden generar, razón por la cual es un tema importante a tener en cuenta en los proyectos infraestructurales de Bogotá.

El tratamiento de la bauxita genera problemas debido a que también genera emisiones que afectan el ambiente, por esta razón se estudia nuevas herramientas y tecnologías para mejorar en gran medida la producción de bloques o de polímeros inorgánicos a partir de los residuos de bauxita disminuyendo notablemente las emisiones.

Al hablar de los materiales alternativos para la construcción como la bauxita, también se debe hablar de la evaluación del ciclo de vida de los materiales puesto que es una herramienta importante para comprender el impacto ambiental potencial de los productos y procesos desde una perspectiva holística. Por esta razón es avalada y tenida en cuenta por BREEAM y LEED que son los dos principales esquemas de acreditación de construcción sostenible. De acuerdo a esto es importante realizar una evaluación a los posibles materiales que están surgiendo en el ámbito constructivos como lo es el residuo de la bauxita.

Esta evaluación del ciclo de vida de los materiales se debe realizar al principio de cada proceso para obtener una mayor información acerca de los materiales a usar y el impacto que estos pueden causar en el ambiente, teniendo claro desde el principio cada uno de los pasos a seguir y cada uno de los materiales a usar, ya sean de origen residual o natural. Esta evaluación es realizada por P. James Joyce, Tobias Hertel, Andrei Goronovski, Alan H. Tkaczyk, Yiannis Pontikes y Anna Björklund 2018, para verificar los impactos más críticos en el uso de los bloques generados a partir de residuos de bauxita.

Al igual que la bauxita, se debe considerar como alternativas de material a los polímeros inorgánicos, y a los geopolímeros que son aglutinantes: sustancias que, como resultado de una reacción química, forman una matriz sólida a la que los agregados pueden ser arrastrados. Además de sus excelentes propiedades mecánicas y al potencial de usar varias corrientes de desechos como materia prima, se destaca el potencial de los materiales activados por álcali, como una alternativa baja en carbono, principalmente debido al hecho de que la descomposición de la piedra caliza, liberando CO₂ geogénico, es un paso inevitable en la producción de Clinker de cemento Portland ordinario [16].

De los 150 millones de toneladas estimadas que se producen anualmente, menos de 4 millones de toneladas (<2.6%) se usan productivamente. La demanda de aluminio continúa creciendo a una tasa de 5 a 7% anual, y la construcción y el transporte constituyen la mayoría de la demanda [16]. En la mayoría de estos trabajos, el residuo de bauxita actúa únicamente físicamente, como material de relleno, en algunos casos mejorando las propiedades mecánicas hasta un cierto nivel de contenido.

2.1.6 Prefabricados

En el artículo de Chao Mao 2013, se define la prefabricación como un proceso de manufactura generalmente realizado en una instalación especializada, en la cual varios materiales se unen para formar una parte componente de la instalación final. La prefabricación es la etapa de transferencia de las actividades de construcción en el sitio del campo a una planta de producción fuera del sitio [3].

Se habla mucho acerca de las investigaciones y estudios que se están realizando en cuanto a la mejora continua de los procesos constructivos convencionales, sin embargo, no se habla de los beneficios y mejoras que pueden tener los procesos de construcción usando los materiales prefabricados.

La industria de la construcción según Chao no ha evolucionado en los últimos 40 años, razón por la cual da la idea de que se debe mejorar, llegando a una serie de procesos constructivos sustentables. Esta construcción sustentable será la más adecuada para los días venideros puesto que ahora si se está teniendo en cuenta,

en gran medida, el comportamiento que tiene el ambiente cuando se realiza una afectación en dicha área.

Las construcciones convencionales producen por lo menos el 30% de las emisiones de efecto invernadero total, por lo que se deben estudiar todas las alternativas que existen para disminuir estas emisiones y con ello la energía utilizada, es decir, usando eficazmente los recursos con los que se cuenta. Una de estas alternativas son las construcciones prefabricadas, en la cual básicamente se realizan las partes de una edificación en una fábrica para luego llevarlas al lugar de construcción e insertarlas adecuadamente formando la edificación deseada.

Los elementos prefabricados emiten menos gases de efecto invernadero, sin embargo, en este proceso se encuentra las emisiones realizadas por el transporte de materiales al área de construcción. Esta alternativa es mucho más fácil de implementar ya que se debe pedir con anticipación las partes necesarias y armar en el sitio adecuado del proyectado.

Esta alternativa para el distrito capital de Bogotá sería una oportunidad rentable puesto que estaría reduciendo un porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero actuales, sin embargo, por el tema del transporte de una fábrica especializada hasta el lugar en donde se armará la edificación, sería difícil de implementar dicha alternativa.

2.2 Alternativas para aprovechamiento de residuos

2.2.1 Residuos de mármol

El mármol es una de las piedras naturales más grandes producidas en el mundo y representa el 50% de la producción mundial de piedra natural. En la India, millones de toneladas de residuos de mármol se liberan de las industrias del mármol durante el procesamiento, corte, esmerilado y pulido de mármol. Durante el procesamiento, el 20-30% del bloque de mármol se convierte en polvo [17].

En la composición química de los residuos de mármol se encuentran: óxidos de calcio (CaO), sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃) y óxidos alcalinos (Na₂O, K₂O). Aparte de eso, óxido de hierro, mica, flúor, clorita y materia orgánica.

En diferentes estudios se presentan resultados de la inclusión del mármol al concreto, material usado en la mayoría de los proyectos constructivos de una ciudad. Se ha encontrado en diferentes análisis de resultados que el mármol como polvo adicionado al cemento, puede generar mayores valores de resistencia a la compresión y mejora otras propiedades importantes del material usado en la construcción.

La mayoría de los procesos de producción de materiales de construcción, como la descomposición de la cal, el carbonato de calcio y la fabricación de cemento de materiales aglomerantes, emiten grandes cantidades de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre. Por lo que se busca obtener una alternativa que pueda mitigar o al menos reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera. Una de las alternativas es hacer uso de los residuos del mármol reduciendo el depósito de estos al aire libre y con ello bajando los índices de emisiones contaminantes. Los residuos de mármol se pueden también usar en la fabricación de ladrillos y para la fabricación de materiales de compuestos poliméricos.

En las últimas décadas se han realizado investigaciones para el reciclaje de mármol, mediante la utilización en la fabricación de materiales de construcción y en la construcción misma. Algunos de los resultados que nos presenta A. Kumar Thakur, A. Pappu y V. Kumar Thakur 2018, son valores de parámetros físicos necesarios en una construcción como la resistencia que puede llegar a ser de 65MPa a 60 kg /m³ de desperdicio de mármol y 100 kg/m³ de contenido de cemento. También nos presenta resultados bastantes buenos con el uso de los residuos del mármol en la fabricación de ladrillos cerámicos cocidos [17].

Después de conocer las investigaciones realizadas se puede observar que la mala gestión de los desperdicios del mármol ha creado un problema ambiental y ecológico importante ya que estos desechos contaminan el suelo, las aguas subterráneas y disipa la contaminación del aire y, por consiguiente, afecta la salud humana.

2.2.2 Residuos de construcción y demolición

Hoy en día se están reutilizando los residuos de una construcción que ya ha culminado con su vida útil o simplemente está siendo demolida para dar paso a una nueva edificación.

Existen técnicas que están aplicando en Rusia para aprovechar los residuos de construcción generando criterios como eficiencia energética y ahorro de energía, que deben ser maximizados según el proyecto en el que se esté trabajando [18]. Para comenzar con estas técnicas de aprovechamiento se debe realizar y completar una base de datos que defina la cantidad y calidad de los materiales desechados de la construcción para poder encontrarle su uso más óptimo y elegir en que reutilizar, en construcciones nuevas o reforzamientos de edificios ya existentes.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son materiales de desecho, generados en las actividades de construcción, demolición y reforma, de edificaciones, obra civil y espacio público [2].

Los escombros, como son llamados los residuos de construcción o demolición, son considerados para mucho como desechos que ya no tienen utilidad, sin embargo, existen varios estudios que demuestran que los tratamientos de dichos residuos pueden generar materiales para utilizar en una nueva construcción.

A nivel global, cada vez más se está aprovechando los residuos de construcción generando con esto una reducción en la contaminación ambiental de un lugar. Por su parte, Bogotá, ha creado normas y leyes para establecer dichos procedimientos de aprovechamiento de escombros, sin embargo, falta mucho por estudiar e implementar en la ciudad ya que solo se cuenta con aprovechamiento artesanal que produce materiales que no cumple con la normativa colombiana.

Los RCD constituyen cerca del 60% de la cantidad total de los residuos generados en las ciudades, por tal razón es necesarias las medidas de aprovechamiento [19].

Actualmente en Bogotá se tienen espacios o vertederos autorizados para depositar los escombros, sin embargo, estos espacios son insuficientes para la cantidad de RCD resultante y por tal razón se generan los vertederos ilegales incumpliendo con la normativa y además interfiriendo con el Plan de Ordenamiento Territorial.

En su artículo Alvaro Chavez 2014, propone una planta de aprovechamiento en el sur de Bogotá cerca del relleno sanitario Doña Juana, dando los parámetros necesarios con los que debería contar esta planta y el tipo de gestión que debería tener para poder tener una buena actividad.

El aprovechamiento de RCD en Bogotá es una buena alternativa para disminuir la contaminación ambiental de la zona urbana, ya que se aprovechan materiales que se suponían inútiles y se evitan posibles daños de humedales, destrucciones de ecosistemas y posibles daños de paisajes naturales por las disposiciones ilegales.

CONCLUSIONES

Como primera conclusión de este artículo se puede asegurar que en la actualidad se necesita de alternativas de construcción más amigables con el medio ambiental que puedan cumplir con los mismos estándares de calidad de los materiales usados hoy en día.

Se han venido aumentando el número de investigaciones y estudios sobre materiales ecológicos que podrían reemplazar los materiales usados en la construcción actualmente, ya que son más contaminantes. Además, se evidencia que no solo se investiga alternativas nuevas para la construcción, sino que también

se está haciendo el esfuerzo por mejorar los materiales usados comúnmente para que se pueda reducir de manera relevante el impacto al medio ambiente.

Otra de las conclusiones que se puede dar es que en Bogotá hace falta más atención en la reutilización de desechos de construcción, ya que no existen plantas de reutilización de escombros y por lo tanto puede existir una posibilidad interesante, tanto ambientalmente como económicamente, de proponer este tipo de industrias para el beneficio del sector de la construcción y del medio ambiente, puesto que es una necesidad bastante grande para los habitantes de la ciudad y para el ambiente en sí.

Este artículo recopila y analiza diferentes artículos sobre materiales alternativos de la construcción y otras opciones que pueden dar solución al problema ambiental que se sufre en las grandes urbes como Bogotá, es preciso aclarar que se deben realizar más estudios a fondo que puedan garantizar una construcción sustentable en las ciudades de hoy en día. Se aconseja seguir estudiando el tema de la construcción ya que es un área muy extensa en el mundo y a diario se están realizando diferentes construcciones debido al crecimiento poblacional de cada país.

REFERENCIAS

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
- [2] C. Jesús, M. Rodrigo, L. Leonardo, G. Adriana y O. Manuel, 2013, «Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes», *Tecnura*, vol. 17, núm. 38, octubre-diciembre, pp. 121-129
- [3] C. Mao, Q. Shen, L. Shen, y L. Tang, nov. 2013, «Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects», *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 165-176. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.033
- [4] D. M. Nguyen, A.-C. Grillet, Q.-B. Bui, T. M. H. Diep, y M. Woloszyn, oct. 2018, «Building bio-insulation materials based on bamboo powder and bio-binders», *Construction and Building Materials*, vol. 186, pp. 686-698. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.07.153
- [5] S. A. Miller, oct. 2018, «Natural fiber textile reinforced bio-based composites: Mechanical properties, creep, and environmental impacts», *Journal of Cleaner Production*, vol. 198, pp. 612-623. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.038
- [6] L. Assi, K. Carter, E. (Eddie) Deaver, R. Anay, y P. Ziehl, jul. 2018, «Sustainable concrete: Building a greener future», *Journal of Cleaner Production*, vol. 198, pp. 1641-1651. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.123
- [7] A. D'Alessandro, C. Fabiani, A. L. Pisello, F. Ubertini, A. L. Materazzi, y F. Cotana, oct. 2016, «Innovative concretes for low-carbon constructions: a review», *International Journal of Low-Carbon Technologies*. doi: 10.1093/ijlct/ctw013
- [8] B. Djamil, abr. 2016, «Sun-dried Clay for Sustainable Constructions», *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 11, Number 6 (2016) pp 4628-4633.
- [9] L. Bragança, S. M. Vieira, y J. B. Andrade, 2014, «Early Stage Design Decisions: The Way to Achieve Sustainable Buildings at Lower Costs», *The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 1-8. doi: 10.1155/2014/365364

- [10] H. Jaime, Ago. 2013, «Construcción Social de Espacio Público en Barrios Populares de Bogotá» *invi* N° 78, Vol. 28, pp. 143-178.
- [11] A. Houghton y C. Castillo-Salgado, dic. 2017, «Health Co-Benefits of Green Building Design Strategies and Community Resilience to Urban Flooding: A Systematic Review of the Evidence», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, n.º 12, p. 1519. doi: 10.3390/ijerph14121519
- [12] M. Justo de Jorge, L. Ovidio y D. Javier, Feb. 2014, «Productividad, eficiencia y sus factores explicativos en el sector de la construcción en Colombia 2005-2010», *Cuadernos de Economía*, 33(63), pp. 569-588.
- [13] A. Laura y D. Joaquín, 2014, «Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction», *International Science Index, Civil and Environmental Engineering* Vol:8, No:5, pp. 1307-6892.
- [14] M. Hamdy, A. Hasan, y K. Siren, ene. 2013, «A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010», *Energy and Buildings*, vol. 56, pp. 189-203. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.08.023
- [15] C. Jacobo y S. Andres, jun. 2013, «Recursos Naturales y Crecimiento Económico en Colombia: ¿Maldición de los Recursos?», *Perfil de Coyuntura Económica* No. 21, pp. 17-37.
- [16] P. J. Joyce, T. Hertel, A. Goronovski, A. H. Tkaczyk, Y. Pontikes, y A. Björklund, nov. 2018, «Identifying hotspots of environmental impact in the development of novel inorganic polymer paving blocks from bauxite residue», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 138, pp. 87-98. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.07.006
- [17] A. K. Thakur, A. Pappu, y V. K. Thakur, oct. 2018, «Resource efficiency impact on marble waste recycling towards sustainable green construction materials», *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 13, pp. 91-101. doi: 10.1016/j.cogsc.2018.06.005
- [18] N. V. Bakaeva y M. Y. Klimenko, nov. 2017, «Technique for Reduction of Environmental Pollution from Construction Wastes», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 262, p. 012195. doi: 10.1088/1757-899X/262/1/012195
- [19] C. P. Álvaro, P. Óscar y G. Nataly, dic. 2013, «Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: estudio de caso Bogotá d.c.», *Universidad militar nueva granada - ciencia e ingeniería neogranadina*, vol. 23-2.
- [20] Y. Sieffert, J. M. Huygen, y D. Daudon, mar. 2014, «Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering–architecture collaboration», *Journal of Cleaner Production*, vol. 67, pp. 125-138. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.018
- [21] Q. M. Felipe, jun. 2014, «Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales», *Revista Hábitat Sustentable*, vol. 4, N.º 1, pp. 56-67.
- [22] S. Tadeu, C. Rodrigues, A. Tadeu, F. Freire, y N. Simões, dic. 2015, «Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of cost-optimal solutions», *Journal of Building Engineering*, vol. 4, pp. 167-176. doi: 10.1016/j.job.2015.09.009
- [23] M. D. Dupleix y A. Réborel, abr. 2017, «La estrategia y la transformación de firmas en declive: revisión de la literatura de los últimos 15 años», *Estudios Gerenciales*, vol. 33, n.º 143, pp. 141-152. doi: 10.1016/j.estger.2017.02.005
- [24] V. González Fernández, Á. Barrios-Padura, y M. Molina-Huelva, may 2017, «Aplicaciones de las técnicas no destructivas Pull-Off y ultrasonidos en el control de calidad del refuerzo con materiales compuestos en estructuras de concreto», *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 28, n.º 1, pp. 5-26. doi: 10.18359/rcin.2593
- [25] Y. L. Rodríguez-Rojas, X. L. Pedraza-Nájar, y J. A. Martínez Arroyo, dic. 2017, «Evaluación de la madurez de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo: revisión de literatura», *SIGNOS - Investigación en sistemas de gestión*, vol. 9, n.º 1, pp. 113-127. doi: 10.15332/s2145-1389.2017.0001.08
- [26] X. L. Pedraza-Nájar, Y. L. Rodríguez-Rojas, y J. Pérez Juárez, dic. 2017, «Medición de la gestión de la calidad universitaria: revisión bibliográfica», *SIGNOS - Investigación en sistemas de gestión*, vol. 9, n.º 1, pp. 19-30. doi: 10.15332/s2145-1389.2017.0001.01
- [27] A. Malagón Medina, jun. 2018, «Revisión sistemática de teorías de integración de sistemas de gestión normalizados», *SIGNOS - Investigación en sistemas de gestión*, vol. 10, n.º 1, pp. 177-191. doi: 10.15332/s2145-1389.2018.0001.10